

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 11279696
PUBLICATION DATE : 12-10-99

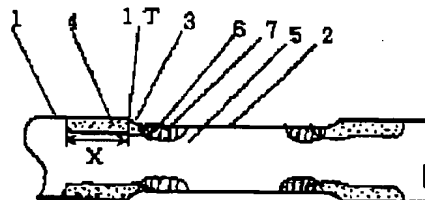
APPLICATION DATE : 30-03-98
APPLICATION NUMBER : 10084264

APPLICANT : SUMITOMO METAL IND LTD;

INVENTOR : YOMODA KEIICHI;

INT.CL. : C22C 38/00 B60B 37/00 C21D 1/10
C21D 6/00 C21D 9/28 C22C 38/58

TITLE : AXLE FOR RAILWAY CAR AND ITS
PRODUCTION



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an axle for railway car having high fatigue strength.

SOLUTION: The axle for railway car is composed of a steel which has a composition containing, by weight, 0.3-0.48% C, 0.05-1% Si, 0.5-2% Mn, 0.5-1.5% Cr, 0.15-0.3% Mo, and 0-2.4% Ni and in which a region of tempered martensite or bainite is provided from the surface to the inner part and a hardened layer 4 of ≥ 400 Vickers hardness exists in a mating part 1 and a region of tempered martensite or bainite exists in its inner part. In this case, the depth of the hardened layer is not smaller than 5.0 mm and not larger than 10% of the diameter of the mating part, and it is desirable that a plastic-worked layer 7, by cold working, with a depth of 1 to 10 mm is formed in the region 6 in the vicinity of the boundary zone between the hardened layer in the surface of an unmating part and an unhardened layer 5. This axle can be produced by forming the steel into the prescribed shape by hot forging, successively performing quench-temper treatment, semifinishing machining, induction hardening for the mating part, and finishing machining, and then applying, desirably, cold pressing by means of roller to the region in the vicinity of the boundary zone between the hardened layer in the surface of the unmating part and the unhardened layer.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-279696

(43) 公開日 平成11年(1999)10月12日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00 3 0 1 Y
B 6 0 B 37/00		B 6 0 B 37/00 Z
C 2 1 D 1/10		C 2 1 D 1/10 H
6/00		6/00 H
9/28		9/28 A

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 7 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-84264

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月30日

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 牧野 泰三

大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内

(72) 発明者 山本 三幸

大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内

(72) 発明者 栗田 真人

大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 広瀬 章一

最終頁に続く

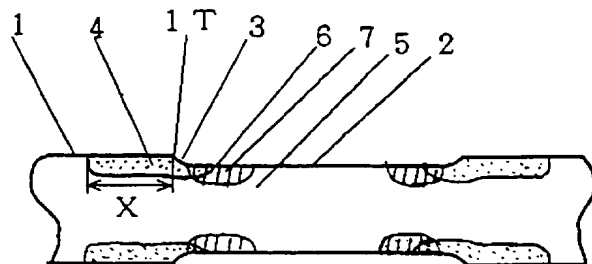
(54) 【発明の名称】 鉄道車両用車軸と製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高い疲労強度を有する鉄道車両用車軸と製造方法を提供する。

【解決手段】 (1) 重量%で、C : 0.3 ~ 0.48%、S i : 0.05 ~ 1%、Mn : 0.5 ~ 2%、Cr : 0.5 ~ 1.5%、M o : 0.15% ~ 0.3% および Ni : 0 ~ 2.4% を含む鋼からなり、表面から内部にかけて焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトの領域を有し、はめ合い部においてはビッカース硬さが400以上である硬化層を有し、その内部に焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトの領域を有する車軸であって、該硬化層の深さが5.0mm以上はめ合い部直径の10%以下であり、望ましくは、非はめ合い部表面の硬化層と非硬化層との境界部近傍領域に、冷間加工による深さが1mm以上10mm以下の塑性加工層を形成した鉄道車両用車軸。

(2) 熱間鍛造により所定の形状にした後、焼入れ焼戻し、半仕上げ機械加工、はめ合い部への高周波焼入れおよび仕上げ機械加工を順次おこない、望ましくは、その後、非はめ合い部表面の硬化層と非硬化層との境界部近傍領域をローラにて冷間押圧加工をおこなう。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量%で、C：0.3～0.48%、Si：0.05～1%、Mn：0.5～2%、Cr：0.5～1.5%、Mo：0.15%～0.3%およびNi：0～2.4%を含む鋼からなり、表面から内部にかけて焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトの領域を有し、はめ合い部においてはビッカース硬さが400以上である硬化層を有し、その内部に焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトの領域を有する車軸において、該硬化層の深さが5.0mm以上はめ合い部直径の10%以下であることを特徴とする鉄道車両用車軸。

【請求項2】 非はめ合い部表面の硬化層と非硬化層との境界部近傍領域に、冷間加工による深さが1mm以上10mm以下の塑性加工層を形成したことを特徴とする請求項1に記載の鉄道車両用車軸。

【請求項3】 熱間鍛造により所定の形状にした後、焼入れ焼戻し、半仕上げ機械加工、はめ合い部への高周波焼入れおよび仕上げ機械加工を順次おこなうことを特徴とする請求項1に記載の鉄道車両用車軸の製造方法。

【請求項4】 熱間鍛造により所定の形状にした後、焼入れ焼戻し、半仕上げ機械加工、はめ合い部への高周波焼入れおよび仕上げ機械加工を順次おこない、その後ローラにて境界部近傍領域の冷間押圧加工をおこない塑性加工層を形成することを特徴とする請求項2に記載の鉄道車両用車軸の製造方法。

【請求項5】 ローラは、ローラ先端半径が1mm以上20mm以下であることを特徴とする請求項4に記載の鉄道車両用車軸の製造方法。

【請求項6】 高周波焼入れは、高周波焼入れ前のフィレット部段差が6mm以下にておこなうことを特徴とする請求項3ないし5のいずれかに記載の鉄道車両用車軸の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高疲労強度の鉄道車両用車軸と製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】鉄道車両用車軸は、その折損が極めて重大な事故につながるため、高い信頼性が要求される。特に、車輪やブレーキディスクあるいは歯車等が嵌合される部分（以後、「はめ合い部」という）では、高い負荷応力の繰返しと車輪など相手部材との微小な相対すべりを原因とするフレット疲労が生じ、疲労強度が大幅に低下することが知られており、その対策が必要となる。

【0003】ところで、一般の鉄道車両用車軸には、炭素鋼が焼入れしないで用いられる。しかし、1960年代の新幹線車両の導入にあっては、高速化による負荷荷重の増大と軽量化といった厳しい条件のもとで、より高い信頼性の車軸が要求され、炭素鋼に高周波焼入れを施

したフレット疲労強度の高い車軸が開発され、使用されてきた。

【0004】近年、新幹線のさらなる高速化が計画され、技術開発が進んでいる。車軸に負荷される荷重は走行速度とともに増大するため、高速化に対応したフレット疲労強度のより高い車軸が求められている。

【0005】本出願人は、特開平10-8202号公報で、Si、Cr、Mo等を含んだ低合金鋼に高周波焼入れを施した車軸を提示した。この車軸は、はめ合い部に薄い硬化層を形成することに特徴がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本出願人は、上記公報に提示した手段で、疲労強度の高い車軸を得た。しかしながら、車両の更なる高速化および安全性の追求に対応して、一段と優れた疲労強度特性を有する車軸が望まれている。そこで、本出願人は、上記公報に提示したように「はめ合い部に薄い硬化層を形成する」ことでなく、「はめ合い部に厚い硬化層を形成する」ことによる疲労強度の向上を想到した。

【0007】本発明の目的は、はめ合い部に厚い硬化層を形成することにより、現行車軸以上のフレット疲労強度を有する鉄道車両用車軸と製造方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、車軸表面への圧縮残留応力の効果的な形成の観点から、上記公報で提示した成分を有する低合金鋼の車軸試作試験をおこない、下記の(a)～(d)がフレット疲労強度の向上に有効であることを確認した。

【0009】(a) はめ合い部において、ビッカース硬さが400以上の硬化層を形成し、その深さを5.0mm以上はめ合い部直径の10%以下とする。

(b) 非はめ合い部表面の硬化層と非硬化層との境界部近傍領域に塑性加工層を形成する。塑性加工層の深さは、1mm以上10mm以下が好ましい。

(c) 高周波焼入れ前のフィレット部段差を適正な範囲にする。

(d) 塑性加工層の形成は、ローラを冷間押圧することによりおこなう。そのローラの先端半径は1mm以上20mm以下が好ましい。

【0010】本発明は、上記知見に基づくもので、その要旨は以下の通りである。

(1) 重量%で、C：0.3～0.48%、Si：0.05～1%、Mn：0.5～2%、Cr：0.5～1.5%、Mo：0.15%～0.3%およびNi：0～2.4%を含む鋼からなり、表面から内部にかけて焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトの領域を有し、はめ合い部においてはビッカース硬さが400以上である硬化層を有し、その内部に焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトの領域を有する車軸において、該硬化層の深さが5.0mm以上はめ合い部直径の10

%以下であることを特徴とする鉄道車両用車軸。

【0011】(2) 非はめ合い部表面の硬化層と非硬化層との境界部近傍領域に、冷間加工による深さが1mm以上10mm以下の塑性加工層を形成したことを特徴とする上記(1)項に記載の鉄道車両用車軸。

【0012】(3) 熱間鍛造により所定の形状にした後、焼入れ焼戻し、半仕上げ機械加工、はめ合い部への高周波焼入れおよび仕上げ機械加工を順次おこなうことを特徴とする上記(1)項に記載の鉄道車両用車軸の製造方法。

【0013】(4) 熱間鍛造により所定の形状にした後、焼入れ焼戻し、半仕上げ機械加工、はめ合い部への高周波焼入れおよび仕上げ機械加工を順次おこない、その後ローラにて境界部近傍領域の冷間押圧加工をおこない塑性加工層を形成することを特徴とする上記(2)項に記載の鉄道車両用車軸の製造方法。

【0014】(5) ローラは、ローラ先端半径が1mm以上20mm以下であることを特徴とする上記(4)項に記載の鉄道車両用車軸の製造方法。

【0015】(6) 高周波焼入れは、高周波焼入れ前のフィレット部段差が6mm以下にておこなうことを特徴とする上記(3)項ないし(5)項のいずれかに記載の鉄道車両用車軸の製造方法。

【0016】上記(1)において、鋼は上記の合金元素以外に、Al、Ca、Ti、Nbなどの微量元素を含んでも良い。ビッカース硬さ測定は、試験荷重が1kgfでの硬さとする。ビッカース硬さが400以上の表層部を、以後の説明において単に「硬化層」という場合がある。上記(3)、(4)、(6)において、「高周波焼入れ」というとき、高周波焼入れに引き続いておこなう低温焼戻しも含めることとする。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明の車軸は、重量%で、C: 0.3～0.48%、Si: 0.05～1%、Mn: 0.5～2%、Cr: 0.5～1.5%、Mo: 0.15%～0.3%およびNi: 0～2.4%を含む鋼からなり、表面から内部にかけて焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトの領域を有し、はめ合い部においてはビッカース硬さが400以上である硬化層を有し、その内部に焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトの領域を有する。

【0018】鋼の化学組成の限定理由を説明する。

(a) C: 0.3～0.48%

Cは母材の強度を高めるとともに、高周波焼入れによる表面の硬さを向上させる元素であり、Cの増加とともに疲労強度は単調に増加する。Cが0.3%未満では、疲労強度が不十分であり、0.48%を越えると焼き割れが発生するため0.3%を下限に、0.48%を上限とする。

【0019】(b) Si: 0.05～1%

Siは脱酸元素としても、また疲労強度を向上させるうえでも有効である。充分に脱酸をおこなうためには、脱酸

後凝固した鋼中にSiが0.05%以上は残存していなければならない。しかし、1%を越えても、疲労強度は向上せず、むしろ靱性が著しく低下するため1%を上限とする。

【0020】(c) Mn: 0.5～2%

Mnは焼入れ性を高めるために必要な元素であり、少なくとも0.5%を含有する必要がある。しかし、過剰に含有しても、その効果は飽和するとともに靱性は劣化するので2%を上限とする。

【0021】(d) Cr: 0.5～1.5%

Crは焼入れ性を高めるのに効果的な元素である。Crが0.5%未満では、疲労強度が不十分であり、1.5%を越えると高周波焼入れの際、硬化層の深さが過大となり圧縮残留応力が低下し疲労強度が低下するので、0.5%を下限に、1.5%を上限とする。

【0022】(e) Mo: 0.15%～0.3%

Moは焼入れ性を高めるとともに、母材の強度を高める作用が強い元素である。0.15%未満では、疲労強度が不十分であり、0.3%を越えると疲労強度が低下するので0.15%を下限に、0.3%を上限とする。

【0023】(d) Ni: 0～2.4%

Niは母材の強度を高めるのに効果的な元素であるが、添加しなくて疲労強度が確保できるので添加しなくてもよい。2.4%を越えて添加しても、疲労強度はほぼ飽和するとともに焼戻し脆化するので上限を2.4%とする。

【0024】その他の合金成分として、組織の微細化や介在物の形状制御を目的として、Al、Ca、Ti、Nbなどの合金元素を微量添加させることにより一層の性能の向上を図ってもよい。

【0025】組織および硬化層を説明する。図1は、本発明に係る車軸の一部分を模式的に示す断面図である。符号1ははめ合い部、2は非はめ合い部、3はフィレット部、4は硬化層、5は非硬化層である。

【0026】非はめ合い部2で、硬化層4以外の車軸の表面から内部にかけては、焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトの組織を有する。これは充分な引っ張り強度と充分な靱性を確保するためである。この組織は、車軸の中心まで存在する必要はなく、内部はフェライトとパーライトの混合組織であってもよい。

【0027】はめ合い部においては、ビッカース硬さが400以上のマルテンサイト変態した硬化層を有し、その深さは5.0mm以上はめ合い部直径の10%以下である。はめ合い部には、上記マルテンサイト変態による体積膨張に起因した圧縮残留応力が生じ、き裂の発生とその進展が抑制され疲労強度が向上する。硬化層の深さが5.0mm未満では、き裂の進展に関する疲労強度が充分でなく、はめ合い部直径の10%を越えると表面の圧縮残留応力が低下するため、疲労強度が低下する。なお、図1に示すように、はめ合い部に形成される硬化層の軸方向範囲は、はめ合い端1Tからの距離Xが10mm

m以上が望ましい。さらに望ましくは30mm以上である。

【0028】はめ合い部の硬化層の内側において、焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトの領域を有する。これは、充分な引っ張り強度および靱性を確保するためである。この組織は、後述する高周波焼入れをおこなう前は、硬化層が形成される表層部においても存在していたものであり、高周波焼入れの際、これら組織中に分散していた微細な炭化物は短時間の内に固溶し、硬化層の硬さをビッカース硬さで400以上とすることを補助する。なお、上記組織の領域は、硬化層と接していなくてもよい。硬化層よりやや内部の、やや硬さの低い高周波焼入れ部分に接して存在する方が普通である。

【0029】本発明の好適態様にあっては、車軸は、非はめ合い部表面の硬化層と非硬化層との境界部近傍領域に、冷間加工による深さが1mm以上10mm以下の塑性加工層を有する。

【0030】図1において、非はめ合い部表面で硬化層4と非硬化層5との境界部6近傍領域に塑性加工層7を形成するのは、充分な圧縮残留応力を確保し、疲労強度を向上させるためである。すなわち、高周波焼入れをおこなうと、上記境界部近傍領域には低い圧縮残留応力あるいは引張残留応力が形成されるが、後述するローラによる冷間押圧加工（以降、単に「押圧加工」ともいう）をおこなうことにより、塑性加工層が形成され、充分な圧縮残留応力が得られる。塑性加工層の深さが1mm未満では、形成される圧縮残留応力の範囲が不充分で塑性加工層の直下からき裂が進展しやすく、10mmを越えると表面の圧縮残留応力が低下する。

【0031】次に、本発明の製造方法について説明する。上記した成分範囲の鋼を溶製し、熱間鍛造にて車軸形状に粗成形した後、焼入焼戻し処理をおこなう。焼入れ前の加熱温度は、 A_c3 点 $\sim 950^{\circ}\text{C}$ とし、焼戻し温度は、 $450\sim 675^{\circ}\text{C}$ の範囲とするのが望ましい。前記の合金元素の中心値の鋼の場合、 A_c3 変態点は 800°C 程度である。焼戻し温度が 450°C 未満では、充分な靱性が得られず、 675°C を越えると、Cr炭化物やMo炭化物が凝集粗大化するため、充分な引張強度が得られない。

【0032】この後、半仕上げ機械加工をおこない、はめ合い部に高周波焼入れを施す。図2は、はめ合い部両端のフィレット部段差を模式的に示す断面図である。半仕上げ機械加工においては、高周波焼入れ前のフィレット部段差 ΔS_0 が6mm以下になるようにおこなうことが望ましい。なお、同図において、 ΔS は、仕上げ機械加工後のフィレット部段差であり、 ΔS_0 は ΔS 以下に設定される。 ΔS_0 が6mmを越えると、高周波焼入れ時にフィレット部の肩部のみが局部的に加熱され、硬化層が形成される車軸長手方向の領域（はめ合い部と非は

め合い部）が小さくなるとともに、硬化層深さも小さくなるため、充分な疲労強度が得られない恐れがある。

【0033】高周波焼入れは、誘導加熱（周波数3kHz程度）コイルにより急速加熱後、水噴射により急冷をすることによりおこなわれる。このときの高周波加熱条件は、シングルショット方式、電流200 \sim 250A、電圧800 \sim 900V、加熱時間10 \sim 20秒、冷却遅延時間0 \sim 5秒、冷却時間10 \sim 20秒の範囲でおこなうことが望ましい。高周波焼入れの後、低温焼戻しを加熱温度 150°C から 300°C の範囲でおこなう。 150°C 以下だと、必要な靱性が確保できず、 300°C 以上だと、高周波焼入れによって発生した圧縮残留応力が消失し、充分な疲労強度が得られない恐れがある。上記高周波焼入れにより、はめ合い部において、深さが5.0mm \sim はめ合い部直径の10%以下の範囲のマルテンサイト変態した硬化層が得られる。

【0034】低温焼戻し後、仕上げ機械加工をおこなう。さらに、仕上げ機械加工後、ローラによる押圧加工をおこなうのが望ましい。図3は、ローラによる押圧加工の領域を説明する模式図である。図3に示すように、押圧加工は、はめ合い部両端のフィレット部RじまいS付近から、非はめ合い部にかけて非はめ合い部直径程度の長さの領域をおこなう。

【0035】図4は、押圧加工に用いるローラ形状例を模式的に示す外觀図である。ローラによる押圧加工は、ローラ11を回転させながらローラ先端部12を車軸表面に押圧しておこなわれるが、ローラ先端半径Uは1 \sim 20mmとするのが望ましい。Uが1mm未満では、押圧荷重は小さいが、押圧加工時間が長くなり、生産性が低下する。Uが20mmより大きいと、押圧荷重が過大となり実用的でない。押圧加工時のローラと車軸表面とのヘルツ圧は、1000 \sim 5000MPaとするのが望ましい。ヘルツ圧が1000MPaより小さいと、押圧加工により生じる塑性加工層が浅くなり、圧縮残留応力とその生じる範囲（深さ）が小さくなる。ヘルツ圧を5000MPaより大きくしても、その効果は飽和する。また、ローラ周速度は125 \sim 350m/minで、車軸の軸方向へのローラ1回転当たりの送り量は、0.1 \sim 0.5mmとするのが望ましい。ローラ周速度や送り量が過小だと生産性が低下し、過大では車軸表面が発熱して軟化する。

【0036】

【実施例】本発明の車軸の疲労強度を評価するために、非はめ合い部の両端に、はめ合い部を有する全長2600mmの模擬車軸（以下、単に「車軸」という）を製作した。表1に上記車軸に供した鋼の化学組成および高周波焼入れ前のフィレット部段差を比較例とともに示す。

【0037】

【表1】

	試験 番号	成分 (重量%)						フィレット部段差 ΔS_0 (mm) * 1
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	
本発明例	1	0.40	0.26	0.88	1.02	0.28	0	8
	2	0.40	0.28	0.88	1.02	0.28	0	8
	3	0.40	0.38	0.88	1.02	0.28	0	5
	4	0.40	0.46	0.89	1.02	0.29	0	5
	5	0.40	0.38	1.06	1.02	0.29	0	4
	6	0.40	0.37	0.87	0.85	0.28	2.1	4
比較例	1	0.39	0.28	0.70	0.08	0.02	0	11
	2	0.40	0.38	0.88	1.02	0.28	0	11
	3	0.40	0.38	0.88	1.02	0.28	0	8

(注) * 1 : 高周波焼入れ前のフィレット部段差

【0038】上記鋼を真空電気溶解炉にて溶解し、銅塊に鋳込み、熱間鍛造にて丸棒状に粗成形した後、850℃にて油焼入れ、550℃にて焼戻しを順次おこなった。次に、半仕上げ機械加工をおこない、はめ合い部直径を200～208mm、非はめ合い部直径を192mm、フィレット部段差 ΔS_0 を4～8mmとした。焼入れ焼戻しの結果、はめ合い部では表面から19～21mmまでが、非はめ合い部では、表面から15mmまでが焼戻しマルテンサイトあるいはベイナイトの組織であった。

【0039】半仕上げ機械加工の後、高周波焼入れをおこなった。高周波焼入れは、誘導加熱コイルにより急速加熱後、水噴射により急冷し、その後200℃で焼戻しをおこなった。誘導加熱条件は、硬化層の深さが7～8mm程度で、はめ合い部における硬化層の軸方向形成範囲は、はめ合い端からの距離Xが85mm程度になるように調整した。

【0040】高周波焼入れ後、仕上げ機械加工をおこない、はめ合い部直径が200mmで非はめ合い部直径が178mmでフィレット部段差が11mmの車軸とした。はめ合い端からはめ合い部にかけて85mm程度の区間では、表面から深さが11mm程度の領域まで圧縮残留応力が生じており、その応力は表面で最大620MPaであった。フィレット部Rじまいから35～40mmの位置の非はめ合い部表面に硬化層と非硬化層（軟化部）との境界部が生じた。また、非はめ合い部表面で、フィレット部Rじまいから50～55mmの位置に高周波焼入れによる熱影響部と非熱影響部との熱影響境界部が見られ、約50MPaの引張残留応力が生じた。

【0041】本発明例2～6は、仕上げ機械加工後、ローラによる押圧加工をおこなった。押圧加工は、ローラ先端半径Uが12mmのローラを用いてフィレット部Rじまいから非はめ合い部にかけて150mmの長さの領

域を対象におこない、ローラ周速度が300mpmで、ローラ1回転当たりの送り量が0.3mmで、ヘルツ圧が3000MPaとなるように押付け荷重を設定した。押圧加工後では、上記境界部および熱影響境界部の残留応力は、600MPaの圧縮応力となった。上述の各残留応力は、X線法にて測定した。

【0042】なお、比較例1は、炭素鋼に高周波焼入れをおこなった車軸で、比較例2は、本発明例1と同じ成分の合金鋼に高周波焼入れをおこなった車軸であり、いずれも製造工程は本発明例1と同様であり、仕上げ機械加工後の押圧加工は未実施である。比較例3は、本発明例2と同じ成分で、製造工程も同様であり、仕上げ機械加工後の押圧加工は実施した。また、比較例1と2では、 ΔS_0 は11mmで、比較例3では、 ΔS_0 は8mmとし、いずれも誘導加熱条件は硬化層の深さが4mm程度になるように設定した。

【0043】次に、上記車軸の回転曲げ疲労試験をおこない、疲労強度を調査した。図5は、回転曲げ疲労試験装置の概要図である。同図に示すように、回転曲げ疲労試験は、片側に車輪を圧入した状態の片持ち回転曲げにて、曲げ公称応力（曲げモーメント／車軸はめ合い部の断面係数）が、240MPaあるいは280MPaとなるように設定しておこなった。なお、上記280MPaの試験は、車両の高速化による車軸に作用する負荷の増大に対応したものである。

【0044】表2に、上記疲労試験による疲労強度を、はめ合い部の硬化層の深さと境界部の塑性加工層の深さの調査結果とともに示す。ここで、疲労強度は、 2×10^7 回の繰返し曲げ後に、はめ合い部に生じたき裂の長さで評価した。

【0045】

【表2】

	試験 番号	硬化層の深さ (mm) * 1	塑性加工層の深さ (mm) * 2	き裂長さ(mm) * 3	
				条件A	条件B
本発明例	1	9	— * 4	0.9	6.3
	2	9	5	0.7	6.5
	3	9	5	0.5	2.4
	4	7	7	0.9	3.3
	5	7	6	1.0	3.2
	6	6	5	1.4	5.8
比較例	1	3	— * 4	2.3×10^6 で破断	未実施
	2	4	— * 4	3.6	1.7×10^6 で破断
	3	4	5	3.5	6.7×10^6 で破断

(注) * 1 : ピッカース硬さ400以上の硬化層の深さ

* 2 : 硬化部と非硬化部との境界部の塑性加工層の深さ

* 3 : 条件A—曲げ公称応力240MPa、繰返し曲げ回数 2×10^7 回

条件B—曲げ公称応力280MPa、繰返し曲げ回数 2×10^7 回

* 4 : 押圧加工は未実施

【0046】本発明例において、硬化層の深さは6～9mmで、本発明例1以外の塑性加工層の深さは5～7mmであった。曲げ公称応力が240MPaの試験では、本発明例は、 2×10^7 回の繰返し曲げで破断せず、き裂長さは0.5mmから1.4mmの範囲で良好であり、高い疲労強度を示した。比較例1は、繰返し曲げ回数が 2.3×10^6 ではめ合い部で破断した。比較例2と3は、 2×10^7 回の繰返し曲げで破断しなかったが、それぞれ、き裂長さは3.6mm、3.5mmとなり本発明例に比べ不良であった。

【0047】一方、曲げ公称応力が280MPaの試験では、本発明例は、 2×10^7 回の繰返し曲げで破断せず、き裂長さは2.4mmから6.5mmの範囲で、特に本発明例3が良好であった。比較例2は、繰返し曲げ回数が 1.7×10^6 で熱影響境界部を起点として破断した。また、比較例3は、繰返し曲げ回数が 6.7×10^6 ではめ合い部を起点として破断した。

【0048】

【発明の効果】本発明の車軸と製造方法により、従来と比較して疲労強度を高めることができる。これによって、新幹線車両等の高速化が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る車軸の一部分を模式的に示す断面図である。

【図2】はめ合い部両端のフィレット部段差を模式的に示す断面図である。

【図3】ローラによる押圧加工の領域を説明する模式図である。

【図4】押圧加工に用いるローラ形状例を模式的に示す外観図である。

【図5】回転曲げ疲労試験装置の概要図である。

【符号の説明】

1 はめ合い部

1T はめ合い端

2 非はめ合い部

3 フィレット部

4 硬化層

5 非硬化層

6 非はめ合い部表面の硬化層と非硬化層の境界部

7 塑性加工層

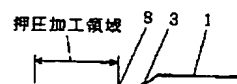
8 フィレット部Rじまい

11 ローラ

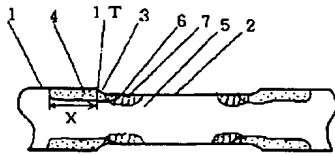
12 ローラ先端部

U ローラ先端半径

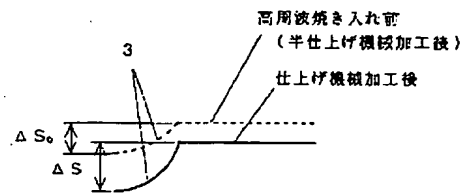
【図3】



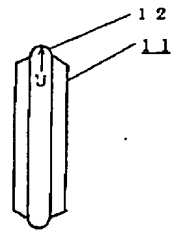
【図1】



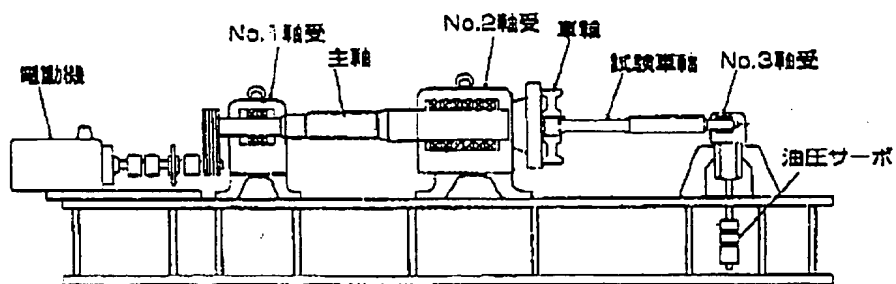
【図2】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶
C 22 C 38/58

識別記号

F 1
C 22 C 38/58

(72) 発明者 四方田 圭一
大阪市此花区島屋5丁目1番109号 住友
金属工業株式会社関西製造所製鋼品事業所
内

THIS PAGE BLANK (USPTO)